

**Cyanidkonzentrationen  
in Leichenblutproben  
nach Inhalation von Rauchgasen  
unterschiedlicher Herkunft**



Simone Stoll

2017

Aus dem  
Institut für Rechtsmedizin  
der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Vorstand: Prof. Dr. med. Matthias Graw

**Cyanidkonzentrationen in Leichenblutproben  
nach Inhalation von Rauchgasen  
unterschiedlicher Herkunft**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Simone Stoll

aus  
Aschaffenburg

Jahr  
2017

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München**

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Wolfgang Keil

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. vet. Elmar Richter

Prof. Dr. rer. nat. Frank Mußhoff

Univ.-Prof. Dr. med. Andreas Büttner

Prof. Dr. med. Burkhard Madea

Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Sybille Kraus

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 04.05.2017

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>5</b>
	<b>Zielsetzung.....</b>	<b>5</b>
	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>5</b>
	<b>Leichenblutproben .....</b>	<b>5</b>
	<b>Brandversuche.....</b>	<b>6</b>
	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>7</b>
	<b>Fallgruppen .....</b>	<b>7</b>
	<b>CN<sup>-</sup>- und CO-Hb-Konzentrationen.....</b>	<b>7</b>
	<b>Brandmaterialien und Ursachen der <i>Brände in geschlossenen Räumen</i> .....</b>	<b>9</b>
	<b>Laborbrandversuche .....</b>	<b>10</b>
	<b>Realraumbrandversuch.....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>12</b>
	<b>3.1 Cyanidkonzentrationen in Leichenblutproben nach Inhalation von Rauchgasen</b>	
	<b>unterschiedlicher Herkunft.....</b>	<b>12</b>
	<b>3.2 Concentrations of cyanide in blood samples of corpses after smoke inhalation of</b>	
	<b>varying origin.....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Publikationen .....</b>	<b>17</b>
	<b>5.1 Eigenanteil an den vorgelegten Arbeiten .....</b>	<b>17</b>
	<b>5.2 Veröffentlichung I: Hydrogen cyanide in fire tests.....</b>	<b>18</b>
	<b>5.3 Veröffentlichung II: Concentrations of cyanide in blood samples of corpses after</b>	
	<b>smoke inhalation of varying origin .....</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Danksagung.....</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>Eidesstattliche Versicherung .....</b>	<b>20</b>

# 1 Abkürzungsverzeichnis

CN <sup>-</sup>	Cyanid
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CO-Hb	Carboxyhämoglobin
DS <sub>max</sub>	Rauchdichte
HCN	Cyanwasserstoff
m	männlich
min	Minuten
n	Anzahl
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
ppm	parts per million
r	Korrelationskoeffizient
Vol-%	Volumenprozent
w	weiblich
$\bar{x}$	arithmetisches Mittel

## **2 Einleitung**

Die Inhalation von Rauchgasen gilt als häufige Todesursache bei Brandopfern [1, 2, 3]. Unter den zahlreichen Bestandteilen von Rauchgas sind wegen ihrer Toxizität besonders HCN und CO zu beachten [4, 5]. Beide Substanzen entstehen insbesondere bei unvollständiger Verbrennung, wobei HCN bevorzugt bei hohen Temperaturen [6, 7] und der Verbrennung stickstoffhaltiger Materialien wie beispielsweise Polyurethan, Polyamid und Polyacrylnitril gebildet wird [8, 9, 10]. Derartige stickstoffhaltige Kunststoffe sind in Wohnungseinrichtungen weit verbreitet, weshalb bei Wohnungsbränden neben CO häufig auch HCN entstehen kann [4].

Nach Angaben aus der klinischen Medizin wird eine Vielzahl der Todesfälle infolge von Bränden durch reine CN<sup>-</sup>-Intoxikationen oder CN<sup>-</sup>-CO-Mischintoxikationen verursacht [11]. In der forensischen Medizin wird zur Klärung der Todesursache bei Personen, deren Tod im Zusammenhang mit Bränden oder Rauchgaseinwirkung steht, bei der Obduktion regelmäßig der CO-Hb-Gehalt im Blut bestimmt [12, 13]. Die Messung der CN<sup>-</sup>-Konzentration wird nur in Ausnahmefällen durchgeführt.

### **Zielsetzung**

Die Zielsetzung bestand darin, die Bedeutung von CN<sup>-</sup> hinsichtlich der Todesursache von Brandopfern genauer einschätzen zu können. In diesem Zusammenhang wurde in Brandversuchen der zeitliche Verlauf der Entstehung von HCN- und CO-Konzentrationen bestimmt. Derartige Daten können nicht nur für die Todesursache, sondern zum Beispiel auch für die Beurteilung der Auffindungssituation von Brandopfern eine Rolle spielen.

### **Material und Methoden**

#### **Leichenblutproben**

In den Jahren 2011 bis 2013 wurden im Institut für Rechtsmedizin München bei 92 Leichen, deren Tod im Zusammenhang mit Bränden bzw. Rauchgaseinwirkung stand, die CN<sup>-</sup>- und CO-Hb-Werte im Herzblut gemessen. Der CO-Hb-Gehalt wurde unmittelbar nach der Entnahme spektralphotometrisch ermittelt (ABL 800 Flex, Radiometer). Die Proben für die CN<sup>-</sup>-Quantifizierung wurden bei -20 °C gelagert. Zur Bestimmung der CN<sup>-</sup>-Konzentrationen wurde eine modifizierte Mikrodifffusion in Natronlauge eingesetzt. Nach Umsetzung mit Pyridin/Barbitursäure-Reagenz [14, 15] wurde der CN<sup>-</sup>-Gehalt photometrisch bestimmt (Genesys 10 uv, Thermo Electron Corporation). Die Quantifizierung erfolgte mit einer 6-Punkt-Kalibration. Die Nachweisgrenze betrug 0,25 mg/l.

Untersuchungen auf Ethanol, Arzneistoffe und Drogen wurden mittels Gaschromatographie sowie Tandem-Massenspektrometrie am Femoralvenenblut durchgeführt.

Die jeweiligen Sektionsbefunde wurden ausgewertet. Dabei wurden konkurrierende Todesursachen sowie partikuläre Rauchgasbestandteile in den Atemwegen berücksichtigt.

Die Brandursache, -materialien und -umstände ergaben sich aus den polizeilichen Ermittlungsakten.

Die statistische Auswertung erfolgte mittels Microsoft Excel 2013 (Microsoft Corporation; USA) und der Statistik-Software SPSS (IBM SPSS; USA).

## **Brandversuche**

Die Laborbrandversuche wurden in der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in Berlin durchgeführt.

In einer Rauchkammer (ISO 5659-2), entsprechend eines Wohnraums mit einer Grundfläche von 60 m<sup>2</sup> und einer Raumhöhe von 2,90 m, wurde ein Schwelbrand-Szenario unter Verwendung von polyurethanhaltigen Sofamodellen nachgestellt.

Auf die Modelle wirkte eine Bestrahlungsstärke von 25 kW/m<sup>2</sup> ein, was einem sich entwickelnden Brand in der Entzündungsphase entspricht (keine Flammenbildung, Raumtemperatur unter 50 °C, O<sub>2</sub>-Konzentration 20,9 Vol-%). Die Modelle wurden über zwei Stunden verschwelt.

Neben der Messung der Konzentrationen von HCN, CO und CO<sub>2</sub> im Rauchgas mittels eines Fourier Transform Infrared (FTIR)-Spektrometers (Nicolet type 380) wurde die Rauchentwicklung (Transmission, optische Rauchdichte) mit einer Lichtmessstrecke ermittelt. Der O<sub>2</sub>-Gehalt wurde unter Verwendung eines Sauerstoffanalysators bestimmt.

Die Daten eines Realraumbrandversuchs wurden von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) übernommen. Dabei wurde eine typische Wohnzimmereinrichtung, u.a. mit polyurethanhaltigen Sofas, in Brand gesetzt [16, 17, 18]. Im Gegensatz zu den Laborbränden (Schwelbrand) wurden alle Phasen eines Brandes vom Entstehungsbrand bis zum Vollbrand durchlaufen. Die Gasanalysen erfolgten analog den Laborbrandversuchen.

## Ergebnisse

### Fallgruppen

Die Blutproben stammten von 92 Personen (m = 58, w = 34) im Alter von 10 bis 90 Jahren ( $\bar{x}$  = 53,3).

Es ergaben sich folgende Gruppierungen (Tab. 1):

**Tab. 1:** Einteilung der Brandopfer in Fallgruppen.

Fallgruppen	n
Brände in geschlossenen Räumen	45
Kraftfahrzeugbrände	8
Holzkohlegrills	17
Selbstverbrennungen	12
eingeleitete Abgase	6
Sonstige (Flugzeugabstürze, Explosionen)	4

### CN<sup>-</sup>- und CO-Hb-Konzentrationen

In der Gruppe *Brände in geschlossenen Räumen* fanden sich die weitaus höchsten CN<sup>-</sup>-Konzentrationen (Median 1,0 mg/l,  $\bar{x}$  = 1,5 mg/l) mit einem Maximum von 8,0 mg/l. Nahezu die Hälfte dieser Fälle (n = 23) wies toxische Werte > 0,5 mg/l<sup>1</sup> auf. Sechsmal wurden letale Konzentrationen > 3,0 mg/l<sup>1</sup> festgestellt.

Bei den acht Opfern, die im Zusammenhang mit *Kraftfahrzeugbränden* starben, lag der Median des CN<sup>-</sup> bei 0,3 mg/l ( $\bar{x}$  = 1,0 mg/l). Zweimal waren toxische Konzentrationen (0,5 und 1,8 mg/l) und einmal ein letaler Wert (5,3 mg/l) nachweisbar.

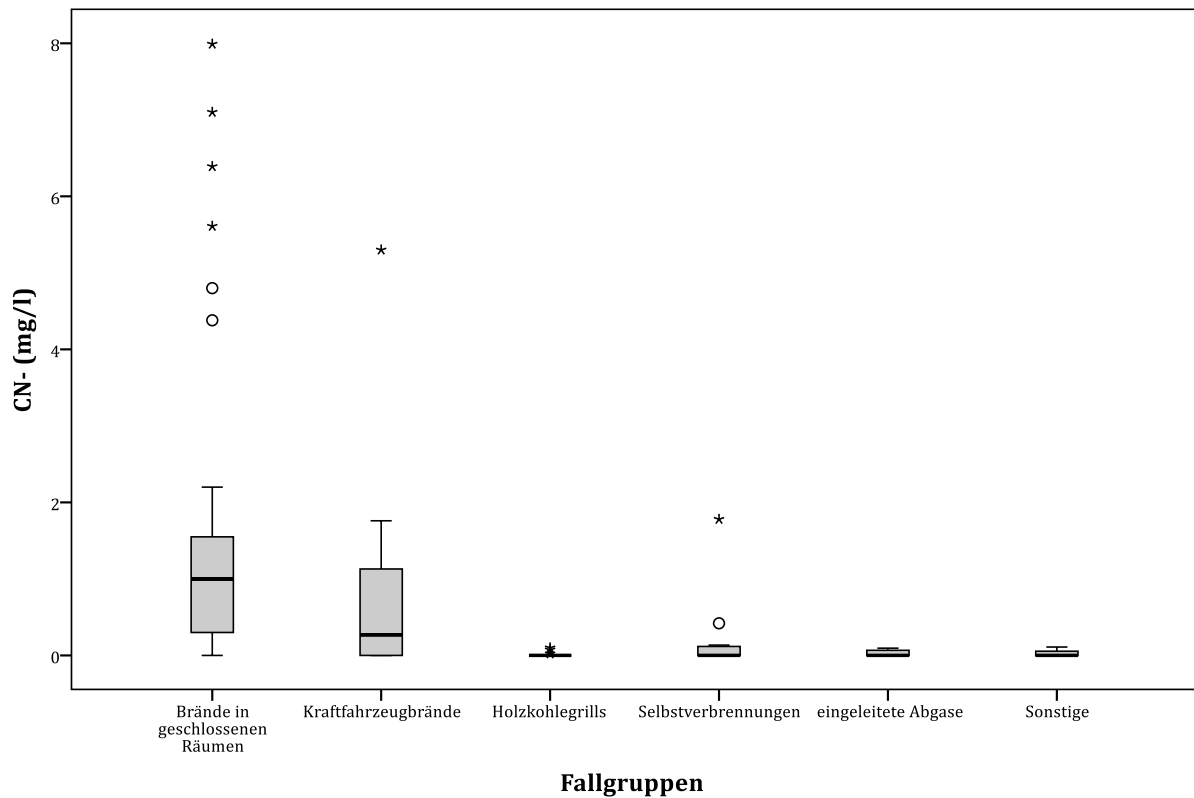
In allen übrigen Gruppen ergaben sich äußerst niedrige Messwerte, zumeist < 0,25 mg/l.

Lediglich bei den *Selbstverbrennungen* bestand in einem Fall eine toxische CN<sup>-</sup>-Konzentration von 1,8 mg/l (Abb. 1).

---

<sup>1</sup> Anseeuw K, Delvau N, Burillo-Putze G et al (2013) Cyanide poisoning by fire smoke inhalation: a European expert consensus. Eur J Emerg Med 20(1):2-9



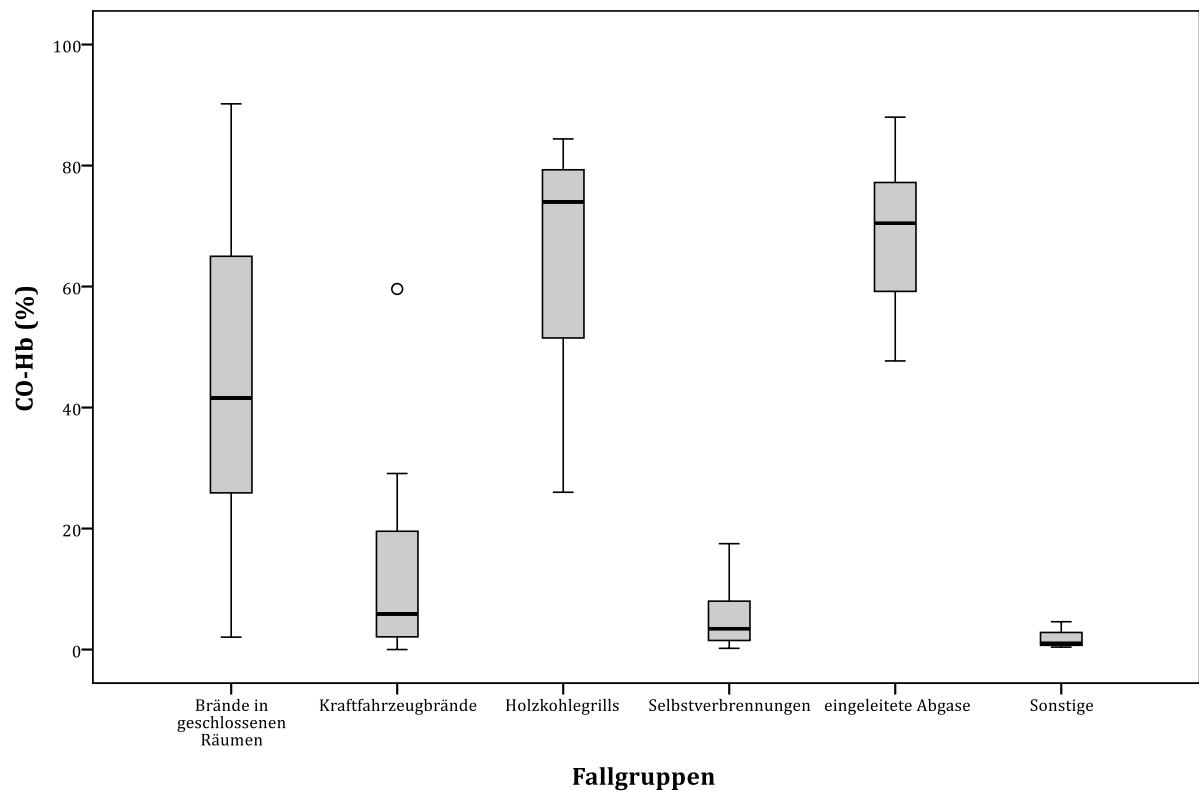


**Abb. 1:** Fallgruppen und  $\text{CN}^-$ -Konzentrationen in Herzblutproben.

Die vergleichsweise bestimmten CO-Hb-Werte der Fallgruppen lagen zwischen 0,0 und 90,2 % CO-Hb.

Der höchste Median ergab sich in der Gruppe *Holzkohlegrills* (74,0 %,  $\bar{x} = 67,1$  %), der niedrigste bei der Gruppe *Sonstige* (1,0 %,  $\bar{x} = 1,8$  %).

Die durch *eingeleitete Abgase* Verstorbenen wiesen im Median 70,5 % CO-Hb ( $\bar{x} = 68,8$  %) auf. 41,6 % CO-Hb ( $\bar{x} = 43,6$  %) betrug dieser in der Gruppe *Brände in geschlossenen Räumen*. Bei den *Kraftfahrzeugbränden* ergab sich ein Median von 5,9 % CO-Hb ( $\bar{x} = 14,3$  %) - bei den *Selbstverbrennungen* lag dieser bei 3,5 % ( $\bar{x} = 5,7$  %) (Abb. 2).



**Abb. 2:** Fallgruppen und CO-Hb-Konzentrationen in Herzblutproben.

### Brandmaterialien und Ursachen der *Brände in geschlossenen Räumen*

In 30 Fällen brannten hauptsächlich Matratzen und Polstermöbel, in 15 weiteren im Wesentlichen sonstige Materialien wie Holzmöbel.

Bestand das hauptsächliche Brandmaterial aus Matratzen und Polstermöbel, wurden im Mittel höhere CN<sup>-</sup>-Konzentrationen festgestellt als in der Gruppe der sonstigen Brandmaterialien (Tab. 2).

In der Mehrzahl der Fälle entzündeten sich Matratzen und Polstermöbel durch Zigaretten. Defekte elektrische Geräte oder eingeschaltete Herdplatten waren für zahlreiche weitere Brände verantwortlich.

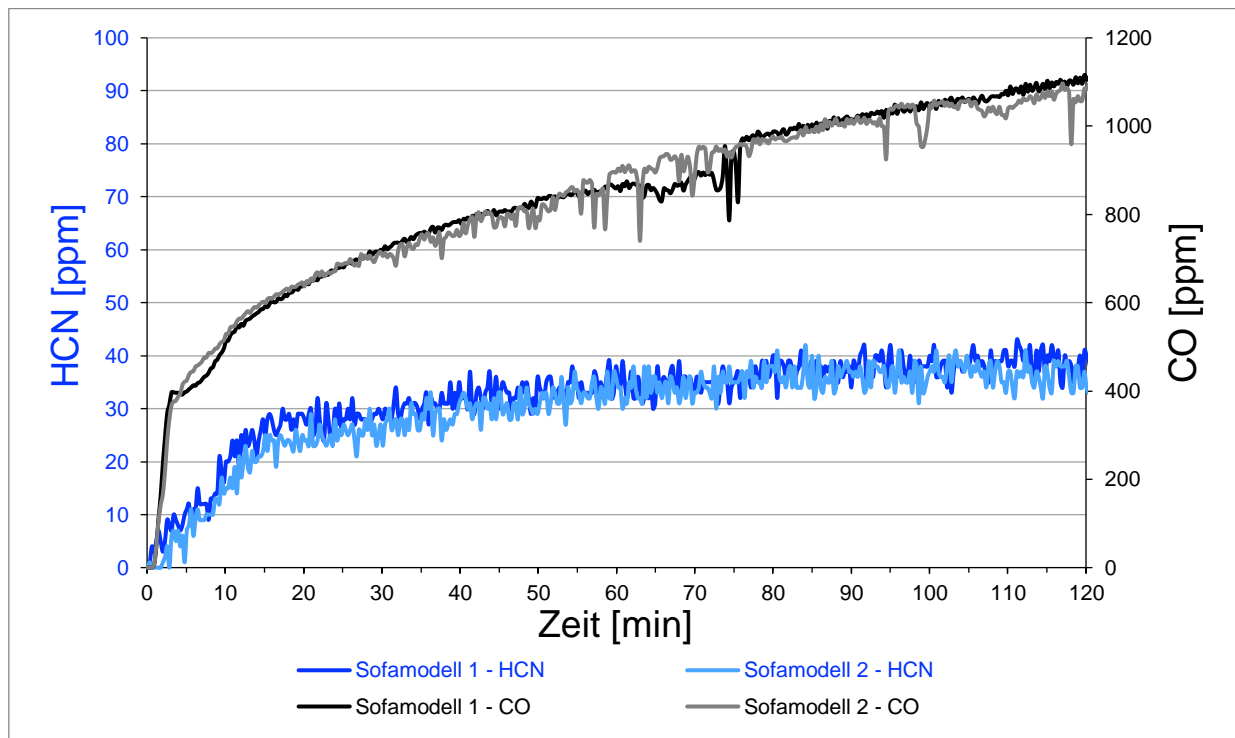
**Tab. 2:** Brände in geschlossenen Räumen - hauptsächliche Brandmaterialien sowie CN<sup>-</sup>- und CO-Hb-Konzentrationen in Herzblutproben.

Hauptsächliches Brandmaterial	CN <sup>-</sup> (mg/l)			CO-Hb (%)		
	Median	$\bar{x}$	Bereich	Median	$\bar{x}$	Bereich
Matratzen/Polstermöbel	1,3	1,9	0,0 - 8,0	42,1	44,0	2,1 - 90,2
Sonstige Materialien	0,4	0,8	0,1 - 4,4	41,4	42,7	3,4 - 71,5

## Laborbrandversuche

HCN-Konzentrationen von 20 ppm wurden nach neun (erster Versuch), bzw. nach elf min (zweiter Versuch) erreicht. Der maximale HCN-Wert von 42 ppm wurde im ersten Versuch nach 91 min und im zweiten nach 84 min gemessen.

Die CO-Konzentrationen erreichten im ersten Laborbrand nach zehn min, im zweiten nach neun min einen Wert von 500 ppm und stiegen bis zum Versuchsende, d.h. nach zwei Stunden, auf maximal 1100 ppm an (Abb. 3).

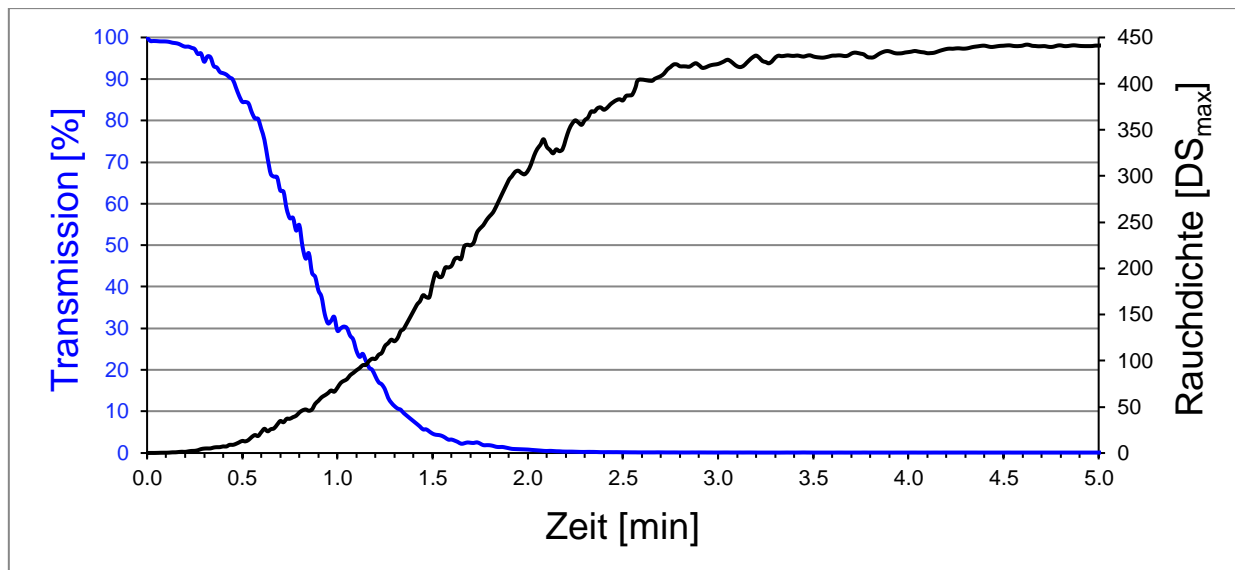


**Abb. 3:** HCN- und CO-Konzentrationen während der zwei Laborbrandversuche mit Sofamodellen.

Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Rauchkammer betrugen nach zwei Stunden maximal 0,3 Vol-%, der O<sub>2</sub>-Gehalt war gering auf 20,6 Vol-% gesunken.

Die Rauchentwicklung war sehr stark. Die Transmission sank bereits nach zwei min auf 0 %, die optische Rauchdichte stieg zugleich deutlich an (Abb. 4).

Die Raumtemperatur erreichte gegen Ende der Versuchsdauer maximal 45 °C.



**Abb. 4:** Transmission und optische Rauchdichte während eines Laborbrandversuchs mit Sofamodellen.

### Realraumbrandversuch

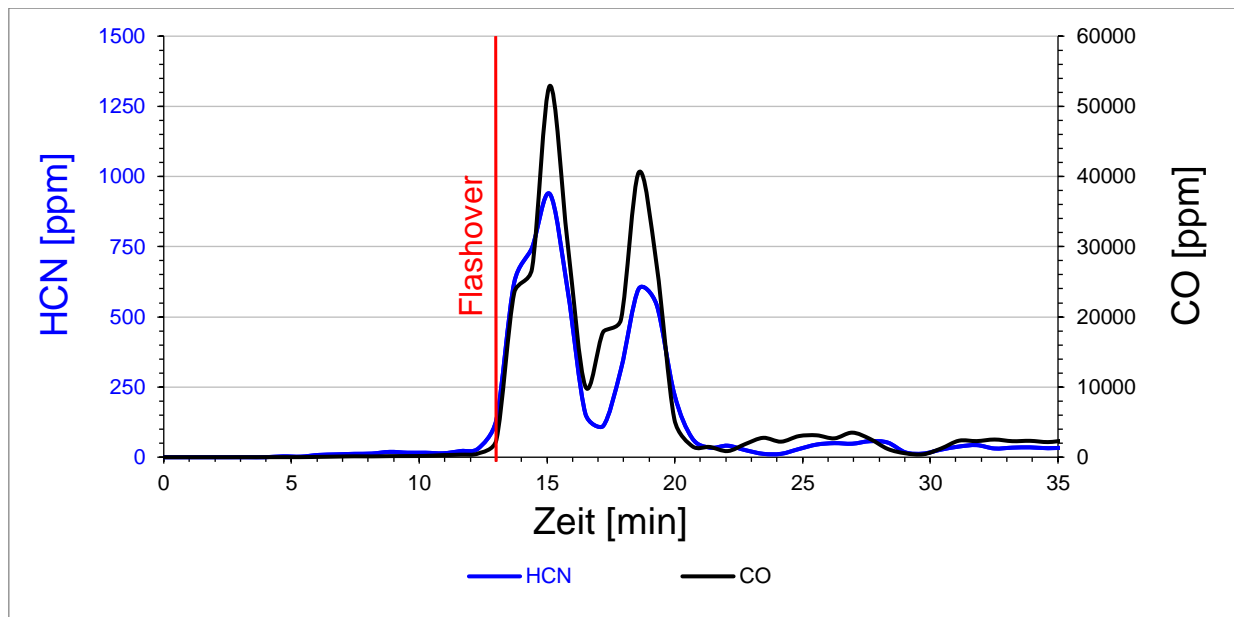
Im Entstehungsbrand des Realraumbrandversuchs betrug die HCN-Konzentration nach zwölf min 30 ppm, es entwickelte sich ein maximaler CO-Gehalt von 550 ppm.

Nach 13 min wurde der schlagartige Übergang des Brandes von der Entstehungs- hin zur Vollbrandphase (Flashover) beobachtet, dem unmittelbar ein Anstieg der HCN-Konzentration auf 270 ppm und mehr folgte. Nach weiteren zwei min lag der gemessene HCN-Wert außerhalb des maximalen Kalibrierbereichs des (FTIR)-Spektrometers (maximaler Kalibrierbereich für HCN liegt bei 500 ppm).

Die CO-Konzentration stieg nach dem Flashover ebenfalls rapide an und erreichte Werte außerhalb des Kalibrierbereichs (maximaler Kalibrierbereich für CO ist 30.000 ppm) (Abb. 5).

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration erreichte während des Entstehungsbrands den Höchstwert von 4,3 Vol-% und vergrößerte sich nach dem Flashover in kürzester Zeit um mehr als das Dreifache auf 14 Vol-%. Der O<sub>2</sub>-Gehalt sank im Entstehungsbrand unmittelbar vor dem Flashover auf 14 Vol-% und betrug danach 0 Vol-% [19].

Im Brandraum wurden wenige Sekunden vor dem Flashover Temperaturen bis 500 °C, nachfolgend bis 850 °C erreicht.



**Abb. 5:** HCN- und CO-Konzentrationen während des Realraumbrandversuchs; Flashover bei 13 min.

### 3 Zusammenfassung

#### 3.1 Cyanidkonzentrationen in Leichenblutproben nach Inhalation von Rauchgasen unterschiedlicher Herkunft

Zur Klärung der Todesursache von Opfern mit Rauchgasinhalation, insbesondere bei *Bränden in geschlossenen Räumen*, haben besonders CO und HCN eine Bedeutung. In der Praxis werden regelmäßig nur die CO-Hb-Konzentrationen gemessen, die CN<sup>-</sup>-Konzentrationen dagegen selten. In derartigen Fällen erschienen systematische Studien zur Bedeutung der CN<sup>-</sup>-Spiegel hinsichtlich der Todesursachenbestimmung angezeigt.

In den Jahren 2011 bis 2013 wurden im Institut für Rechtsmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München 92 Opfer untersucht, bei denen eine Rauchgasinhalation zu diskutieren war. Dabei wurden die CN<sup>-</sup>-Konzentrationen im Vergleich zu den CO-Hb-Konzentrationen bestimmt. Die durch Obduktion festgestellten morphologischen Befunde, die Auffindungssituation, die Brandmaterialien und sonstige Brandumstände wurden berücksichtigt, um die Bedeutung von CN<sup>-</sup> in Hinblick auf die Todesursache abschätzen zu können.

Zu diesem Zweck wurden zusätzlich Modellbrandversuche in Form von Laborbrandversuchen und einem Realraumbrandversuch mit zeitabhängigen Analysen der HCN- und CO-Entstehung durchgeführt.

Die höchsten CN<sup>-</sup>-Blutkonzentrationen unter den 92 Leichen wurden bei 45 Opfern von *Bränden in geschlossenen Räumen* gemessen, insbesondere wenn das Brandmaterial hauptsächlich aus Matratzen und Polstermöbeln bestand. Bei drei Betroffenen waren letale CN<sup>-</sup>-Blutkonzentrationen, jedoch nur toxische CO-Hb-Werte unter 50 % vorhanden. Somit war bei diesen Fällen das CN<sup>-</sup> für den Tod von entscheidender Bedeutung. In zwölf weiteren Proben wurden toxische CN<sup>-</sup>-Konzentrationen zwischen 0,5 und 2,0 mg/l gemessen, wobei die CO-Hb-Werte im toxischen Bereich zwischen 15 und 40 % lagen. In diesen Fällen ist von einer letztlich tödlichen Mischintoxikation auszugehen, da die CN<sup>-</sup>-und CO-Hb-Werte jeweils allein den Tod nicht erklären. Nur bei drei der 45 Fälle war kein CN<sup>-</sup> nachweisbar. Der offensichtliche Zusammenhang von stickstoffhaltigen Brandmaterialien, den entstehenden HCN-Konzentrationen in den Rauchgasen und den CN<sup>-</sup>-Blutkonzentrationen wurde in den Modellbrandversuchen bestätigt.

Die im Laborbrandversuch erreichten Raumlufkonzentrationen von HCN können unspezifische, jedoch keine lebensbedrohlichen körperlichen Symptome hervorrufen. Demgegenüber erreichte der CO-Gehalt bis zum Versuchsende nach zwei Stunden Werte im lebensgefährlichen Bereich, so dass bei Betrachtung beider Substanzen die direkte HCN-Wirkung nur als geringgradige Verstärkung des dominierenden toxischen CO-Effektes anzusehen ist.

Weitere Ergebnisse der Laborbrandversuche zeigten, dass es in den ersten Minuten zu einer starken Rauchentwicklung mit extremer Sichtbehinderung kommt. In diesem Zeitintervall dürften dagegen weder die toxische Wirkung der Rauchgase noch höhere Raumtemperaturen die Opfer von Schwelbränden in ihren Handlungs- bzw. Selbstrettungsmöglichkeiten beeinträchtigen.

Im Realraumbrandversuch wurden vor dem Flashover nach 13 Minuten ebenfalls toxische HCN- und CO-Werte erreicht. Dabei war der wesentliche Faktor für eine Beeinträchtigung die extrem ansteigende Raumtemperatur. Erst unmittelbar nach dem Flashover stiegen sowohl die HCN- als auch die CO-Konzentrationen auf letale Werte an. Der unmittelbar nachfolgende CO<sub>2</sub>-Anstieg auf 14 Vol-% und das letztlich völlige Fehlen von O<sub>2</sub> stellen zusätzlich tödliche Faktoren dar, die jedoch angesichts des zeitlichen Verlaufs der Rauchgasentwicklung für den Tod nicht mehr von relevanter Bedeutung sind. Der weitere Temperaturanstieg bis auf 850 °C dürfte im Wesentlichen zu postmortalen Veränderungen führen.

Im übrigen Untersuchungsgut wurden bei den acht Betroffenen von *Kraftfahrzeugbränden* in zwei Fällen mit 1,8 mg/l (CO-Hb 29,1 %) und 0,5 mg/l (CO-Hb 10 %) toxische, in einem anderen Fall mit 5,3 mg/l ein letaler CN<sup>-</sup>-Wert (CO-Hb 60 %) gemessen. Dies war auf die Verwendung stickstoffhaltiger Kunststoffe, vor allem im Motorraum und in der Kabine, zurückzuführen [20]. Zusammengefasst fanden sich bei den Opfern von *Bränden in geschlossenen Räumen* und *Kraftfahrzeugbränden* in 47 % der Fälle toxische und in 13 % der Fälle letale CN<sup>-</sup>-Werte.

Die Opfer der Gruppe *Selbstverbrennung* zeigten nur in einem Fall einen toxischen CN<sup>-</sup>-Gehalt von 1,8 mg/l bei 17,5 % CO-Hb - das Material der Kleidung war ursächlich für den CN<sup>-</sup>-Wert.

Bei den Todesfällen durch *eingeleitete Abgase* und *Holzkohlegrills* fanden sich erwartungsgemäß keine erhöhten CN<sup>-</sup>-Konzentrationen. Allerdings wurden bei beiden Gruppen im Mittel die höchsten CO-Hb-Werte gemessen.

In allen anderen Proben wurden nur sehr niedrige oder keine CN<sup>-</sup>- und CO-Hb-Konzentrationen festgestellt

Die Studie erbrachte, dass vor allem bei *Bränden in geschlossenen Räumen* und *Kraftfahrzeugbränden* mit einer Freisetzung relevanter Mengen an HCN zu rechnen ist. Die Ursache stellen stickstoffhaltige Brandmaterialien wie Polyurethan dar. Ein Viertel der Betroffenen verstirbt an einer CN<sup>-</sup>-CO-Mischintoxikation - die Einzelkonzentrationen beider Gase erklären den Tod in diesen Fällen nicht. Bei einigen Opfern stellt allein CN<sup>-</sup> die letale Komponente dar.

Wesentliches Ergebnis ist, dass die routinemäßige Messung des CN<sup>-</sup>-Gehalts neben der Bestimmung der CO-Hb-Konzentration notwendig erscheint, um zweifelsfrei die Todesursache feststellen zu können.

### **3.2 Concentrations of cyanide in blood samples of corpses after smoke inhalation of varying origin**

In clarification of the cause of death of victims with smoke inhalation, especially in *enclosed-space fires*, CO and HCN are of particular significance. In practice only the COHb concentrations are measured regularly, but rarely the CN concentrations. In such cases systematic studies to assess the significance of the CN level in determination of the cause of death seemed to be advisable.

In the years from 2011 to 2013 the Institute of Legal Medicine of Ludwig-Maximilians-University Munich examined 92 victims who had suffered smoke inhalation. In the process the CN concentrations were measured in comparison with the COHb concentrations. The autopsy findings, the situations in which the victims were found, the fire materials and other circumstances of the fires were taken into account in order to assess the significance of CN with regard to the cause of death.

To this end model fire tests were also carried out in the form of bench-scale fire tests and one enclosed-room fire test with time-related analyses of the development of HCN and CO.

The highest CN concentrations among the 92 corpses were measured in the blood of 45 victims of *enclosed-space fires*, especially when the fire material consisted mainly of mattresses and upholstered furniture. In three cases lethal concentrations of CN were found in the blood, but only toxic COHb levels below 50 %. In these cases CN was thus of decisive importance for death. In twelve further specimens toxic CN concentrations of between 0.5 and 2.0 mg/l were found together with COHb levels in the toxic range between 15 and 40 %. In these cases it is to be assumed that the cause of death was ultimately a fatal mixed intoxication, as neither the CN

nor the COHb levels alone would account for the death. Only in three of the 45 cases could no CN be detected. The obvious connection between nitrogenous fire materials, the HCN concentrations developing in the smoke gases and the CN concentrations in the blood was confirmed in the model fire tests.

The air concentrations reached in the bench-scale fire test can cause non-specific but not life-threatening symptoms. By contrast, the CO content by the end of the test after two hours reached levels in the life-endangering range, which indicates that, if both substances are considered, the direct effect of the HCN is to be regarded merely as a low-level amplification of the dominant toxic effect of the CO.

Further results from the bench-scale fire tests showed that in the first few minutes intense smoke development sets in with extreme obstruction of vision. In this phase probably neither the toxic effect of the smoke gases nor higher room temperatures impair the courses of action open to victims of smouldering fires, i.e. the possibilities of saving themselves.

In the enclosed-room fire test toxic HCN and CO levels were likewise reached before the sudden transition in the fire from the development phase to the full-fire phase (flashover) after 13 minutes. Here the main impairing factor was the rise in room temperature to extreme levels. Only immediately after flashover did both the HCN and the CO concentrations rise to lethal levels. The directly subsequent rise in CO<sub>2</sub> to 14 % by volume and the ultimate complete lack of O<sub>2</sub> are additional fatal factors, but in view of the development of smoke gas over time their significance was no longer relevant in the death. The further rise in temperature to 850 °C probably led mainly to post-mortal changes.

Among the other cases examined were eight victims of *motor-vehicle fires*, where in two cases at 1.8 mg/l (COHb 29.1 %) and 0.5 mg/l (COHb 10 %) toxic, in another case at 5.3 mg/l a lethal CN figure (COHb 60 %) were measured. This was attributable to the use of nitrogenous plastics, above all in the engine compartment and in the cab [20]. In summary, 47 % of the victims of *enclosed-space fires* and *motor-vehicle fires* had toxic and 13 % lethal CN values. Only one case of *self-immolation* displayed a toxic CN level of 1.8 mg/l and a COHb level of 17.5 %.

As expected, no increased concentrations of CN were found in victims of *exhaust gases* and *charcoal grills*. However, both groups displayed the highest COHb levels on average.

In all other specimens only very low or no concentrations of CN or COHb were found.

The study indicated that release of relevant quantities of HCN is to be expected, above all in fires in enclosed spaces and in vehicle fires. The cause is nitrogenous fire materials such as polyurethane. A quarter of the victims probably died from a mixed CN-CO intoxication because the individual concentrations of either gas alone often cannot explain the deaths. In some of the cases CN is the lethal element.

The main result is that, alongside determination of the COHb concentration, routine measurement of the CN content seems necessary in order to pinpoint the cause of death without any doubt.



## 4 Literaturverzeichnis

1. Mierley MC, Baker SP (1983) Fatal house fires in an urban population. JAMA 249:1466-1468
2. Karter MJ Jr (1986) Fires loss in the United States during 1985. Fire J 80:26-65
3. Loke J, Matthay RA, Smith GJW (1988) The toxic environment and its medical implications with special emphasis on smoke inhalation. In: Loke J (ed) Pathophysiology and treatment of inhalation injuries. Marcel Dekker, New York, pp 453-504
4. Alarie Y (2002) Toxicity of fire smoke. Crit Rev Toxicol 32(4):259-289
5. Lawson-Smith P, Jansen EC, Hyldegaard O (2011) Cyanide intoxication as part of smoke inhalation - a review on diagnosis and treatment from the emergency perspectives. Scand J Trauma Resusc Emerg Med 19:14
6. Blomqvist P, Lönnemark A (2001) Characterization of the combustion products in large-scale fire tests: comparison of three experimental configurations. Fire Mater 25:71-81
7. Baud FJ (2009) Akute Vergiftungen mit Kohlenmonoxid und Zyaniden. Ther Umsch 66:387-397
8. Terrill JB, Montgomery RR, Reinhardt CF (1978) Toxic gases from fires. Science 200:1343-1347
9. Koschel MJ (2002) Where there's smoke, there may be cyanide. AJN 102(8):39-42
10. Geldner G, Koch EM, Gottwald-Hostalek U, Baud F, Burillo G, Fauville JP et al (2013) Report on a study of fires with smoke gas development. Anaesthesist 62:609-616
11. Anseeuw K, Delvau N, Burillo-Putze G, De Iaco F, Geldner G, Holström P et al (2013) Cyanide poisoning by fire smoke inhalation: a European expert consensus. Eur J Emerg Med 20(1):2-9
12. Noguchi TT, Eng JJ, Klatt EC (1988) Significance of Cyanide in medicolegal investigations involving fires. Am J Forensic Med Path 9(4):304-309
13. Grabowska T, Skowronek R, Nowicka J, Sybirska H (2012) Prevalence of hydrogen cyanide and carboxyhaemoglobin in victims of smoke inhalation during enclosed-space fires: a combined toxicological risk. Clin Toxicol 50:759-763
14. Asmus E, Garschagen H (1953) Über die Verwendung der Babbitursäure für die photometrische Bestimmung von Cyanid und Rhodanid. Z Anal Chem 138:414-422
15. Feldstein L, Klendshoj NC (1954) The determination of cyanide in biological fluids by microdiffusion analysis. J Lab Clin Med 44:166-170
16. Krüger S, Deubel JH, Werrel M, Raspe T (2013) Brandtechnologische und chemisch-analytische Untersuchungen zum Einfluss von Brandbeschleunigern bei Zimmerbränden. 3rd Magdeburger Brand- und Explosionsschutztag/vfdb-Workshop Brandschutzforschung, Magdeburg, 21.-22. März 2013
17. Deubel JH, Werrel M, Krüger S, Raspe T (2013) Forschungsbericht Raumbrände - Teil 1: Versuchsaufbau und brandtechnologische Untersuchungen. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

18. Fettig I, Deubel JH, Raspe T, Werrel M, Piechotta CH, Krüger S (2013) Forschungsbericht Raumbrände - Teil 2: Versuchsaufbau und Brandspurenanalytik. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin
19. Krüger S, Deubel JH, Werrel M, Raspe T, Berger A (2013) Welche stofflichen und energetischen Gefahren gehen von Wohnzimmerbränden aus? 61st Jahresfachtagung der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb), Weimar, 27.-29. Mai 2013
20. Pohl KD (1989) Der Kraftfahrzeugbrand. DAT, Stuttgart

## **5 Publikationen**

### **5.1 Eigenanteil an den vorgelegten Arbeiten**

Das Thema der Dissertation war von Herrn Prof. Dr. med. Wolfgang Keil vorgegeben. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden in zwei Publikationen veröffentlicht, bei denen die Doktorandin jeweils Erstautorin war.

Die gemessenen CN<sup>-</sup>- und CO-Hb-Konzentrationen sowie die Ergebnisse der Untersuchungen auf Ethanol, Arzneistoffe und Drogen wurden der Doktorandin vom Institut für Rechtsmedizin München zur Verfügung gestellt.

Die Vorbereitung, die Datenerfassung sowie die statistische Auswertung der Studiendaten erfolgte selbstständig.

Die Laborbrandversuche wurden in der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in Berlin zusammen mit Frau Dr. Simone Krüger realisiert. Der Realraumbrandversuch war zuvor als Forschungsprojekt von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in Leipzig durchgeführt worden. Die Daten wurden für die erste Publikation zur Verfügung gestellt.

Die Publikationen wurden von der Doktorandin eigenständig verfasst und bei fachspezifischen Fragen die Ko-Autoren konsultiert.

## **5.2 Veröffentlichung I:**

### **Hydrogen cyanide in fire tests**

„Hydrogen cyanide in fire tests - Forensic aspects“ wurde in der Zeitschrift „Rechtsmedizin“ veröffentlicht. Die Konzentrationen von HCN und anderer Rauchgasbestandteile wurden im zeitlichen Verlauf bei der Verbrennung polyurethanhaltiger Materialien im Labor- und Realraumbrandversuch gemessen. Die Daten haben Bedeutung, insbesondere für die Selbstrettungs- und Handlungsfähigkeit von Brandopfern ([Rechtsmedizin \(2016\) 26: 184. doi:10.1007/s00194-016-0090-5](#)).

Die „Rechtsmedizin“ erscheint im Springer Verlag unter der geschäftsführenden Herausgeberschaft von Prof. Dr. Dr. Reinhard Dettmeyer (Institut für Rechtsmedizin Gießen). Sie ist in zahlreichen Zitationsdiensten indiziert (Science Citation Index Expanded (SciSearch), Journal Citation Reports/Science Edition, SCOPUS, EMBASE, Google Scholar, Academic OneFile, EMCare, Gale, OCLC, SCImago, Summon by ProQuest) und unterliegt einem Peer-Review-Verfahren. Bei Einreichen des Artikels lag der errechnete Impactfactor bei 0,632 Punkten.

## **5.3 Veröffentlichung II:**

### **Concentrations of cyanide in blood samples of corpses after smoke inhalation of varying origin**

„Concentrations of cyanide in blood samples of corpses after smoke inhalation of varying origin“ ist im „International Journal of Legal Medicine“ erschienen. Die Arbeit zeigt anhand der Untersuchung von 92 Brandopfern die Notwendigkeit der routinemäßigen CN<sup>-</sup>-Messung auf. Brandumstände, besonders Brandmaterialien, wurden bei der Analyse berücksichtigt ([Int J Legal Med \(2017\) 131: 123. doi:10.1007/s00414-016-1426-0](#)).

Auch diese Zeitschrift erscheint im Springer Verlag. Herausgeber sind Univ.-Prof. Dr. med. Heidi Pfeiffer (Institut für Rechtsmedizin Münster) und Prof. Dr. med. Thomas Bajanowski (Institut für Rechtsmedizin Essen). Die Zeitschrift ist in diversen wissenschaftlichen Datenbanken gelistet (Science Citation Index, Science Citation Index Expanded (SciSearch), Journal Citation Reports/Science Edition, PubMed/Medline, SCOPUS, EMBASE, Google Scholar, EBSCO, CSA, ProQuest, Academic OneFile, Academic Search, Biological Abstracts, BIOSIS, Criminal Justice Abstracts, CSA Environmental Sciences, Current Contents/Clinical Medicine, EMCare, Gale, OCLC, SCImago, Summon by ProQuest). Sie unterliegt ebenfalls einem Peer-Review-Verfahren. 2016 lag der errechnete Impactfactor bei 2,862 Punkten.

## 6 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Wolfgang Keil für die gute Betreuung, die tatkräftige Unterstützung und Förderung bei der Fertigstellung der Dissertation. Außerdem danke ich ihm dafür, dass er mir die Möglichkeit gegeben hat die Ergebnisse auf mehreren Fachtagungen der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin (DGRM) zu präsentieren.

Frau Dr. rer. hum. biol. Gabriele Roider danke ich besonders dafür, dass sie mir bei toxikologischen Fragen stets mit Rat und Tat zur Seite stand, sowie für ihre wertvolle Unterstützung bei der Erstellung der Publikationen.

Frau Dr. med. Sybille Kraus danke ich für die Einführung in die Rechtsmedizin, die gute Betreuung und ihre hilfreichen Tipps.

Ebenso gebührt mein Dank Frau Birgit Övgüler für die Untersuchung der Leichenblutproben und Aufbereitung der Messergebnisse.

Frau Dr. rer. nat. Simone Krüger vom Bundesamt für Materialforschung und -prüfung (BAM) danke ich für die Möglichkeit der Durchführung der Laborbrandversuche und für die Bereitstellung der Daten des Realraumbrandversuchs, sowie für die Hilfestellung in brandtechnischen Fragen.

Meinem Mann Daniel danke ich, dass er mich während der Erstellung der Dissertation ertragen hat, auch wenn dies nicht immer einfach war.

## 7 Eidesstattliche Versicherung

Ich, Simone Stoll, erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

**Cyanidkonzentrationen in Leichenblutproben  
nach Inhalation von Rauchgasen  
unterschiedlicher Herkunft**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Widnau, 04.05.2017

---